

The Application of TW3 method for Prediction about Bone Age in Hand AP Image of Children

Jinsoo Lee

Dept. of Radiology, Inje University Haeundae Paik Hospital

소아 Hand AP영상에서 골연령 예측을 위한 TW3법의 응용

이진수

인제대학교 해운대백병원 영상의학과

Abstract

The study is to recognize the interactions with bone ages by measuring the length between the end of the bone and the growth plate on selected highest weight of regions of seven for bone maturity in TW3 method. The experiment is subjected on seventy-two children (36 males, 36 females) who have examined the growth plate test from March, 2014 to March, 2015 and implemented a regression analysis by measuring the length between the end of the bone and the growth plate in Hand AP image of the children. In result, each bone age has produced a mean value and a standard deviation corresponding to the specific range and as bone age increases the length between the end of the bone and the growth plate decreased. In addition, female children showed lower mean value in comparison to male and also the measurement of the length between the end of the bone and the growth plate and its bone age are shown to be statistically valid($p < 0.001$) according to the results of regression analysis using its result value. Therefore, the probability of prediction on the bone age read off through the applied TW3 method and regression equation in the Hand AP image of the children.

Key Words : Hand AP image, Bone age, TW3 method, Regression analysis

요약

본 연구는 TW3법에서 골성숙 가중치가 가장 높은 7부위를 선정하여 성장판과 골 말단부 사이의 길이를 측정하여 연령과의 상관관계를 알아보려고 하였다. 실험은 2014년 3월에서 2015년 3월까지 성장판검사를 시행한 소아 72명(남 36명, 여 36명)을 대상으로 하였으며, 소아 손 전후영상에서 성장판과 골 말단부 사이의 길이를 측정하여 회귀분석을 하였다. 그 결과 각 연령마다 특정범위에 상응하는 평균과 표준편차 값이 나타났으며, 연령이 증가할수록 성장판과 골 말단부 사이 길이가 감소하였다. 또한 여아가 남아에 비해 평균값이 작게 나타났으며, 회귀분석 결과에서 성장판과 골 말단부 부위 측정 길이와 연령이 통계적으로 유의($p < 0.001$)한 것으로 나타났다. 따라서 소아 손 전후영상에서 TW3법의 응용을 통한 회귀방정식으로 골연령의 예측이 가능함을 알 수 있었다.

중심단어: 손 전후영상, 골연령, TW3법, 회귀분석

I. INTRODUCTION

소아의 성장은 유전, 호르몬, 영양적 요인뿐만 아니라 여러 복합적인 요인들이 작용하여 성장이 이루어지며, 성장이 정상 수준에서 벗어난다면 내분비적 혹은 비 내분비적인 모든 신체질환의 첫 번째 신호로 볼 수 있다^[1].

성장은 성인의학에서는 경험하지 못하는 소아 대상 의료만의 독특한 특성 영역이라 할 수 있으며, 영아기 이후의 소아에서는 체중보다는 키의 성장이 더 중요하게 된다^[2]. 성장 평가 방법에는 크게 신장 및 몸무게를 이용한 방법과 골연령을 이용한 방법이 있다. 신장 및 몸무게를 이용한 방법은 대상자의 신장 및 몸무게를 질병관리본부에서 공고한 성장도표의 백분위 수와 비교하여 정상성장 여부를 판별하는 방법이지만 이 방법은 영양과 호르몬, 유전적 요인에 의한 영향 때문에 편차 범위가 넓어 정확한 평가를 위해서는 부모의 키와 사춘기 발단 정도 등의 추가적인 요소들에 대한 정보가 필요하다^[3]. 반면에 골연령을 이용한 성장 평가 방법은 신체의 성장 정도를 반영하고 또한 성인키를 예측하는데 도움을 주며 내분비 질환을 갖고 있는 소아의 성장 정도를 평가하여 적절한 치료가 이루어지고 있는지 추적하는데 유용하기 때문에 임상에서 성장을 평가에 많이 이용되고 있는 방법이다^[4].

골연령은 현재나 미래의 성장상태를 반영하는 것으로 정상인에서 골연령은 역연령과 거의 같거나 6 개월 이내 차이가 있을 정도이며 성장 평가에 있어 매우 중요하다. 특히 최근에 여아에서 조숙증 내지 사춘기 조발증이 많이 발병되고 있어 골연령 판독의 중요성이 더욱 대두되고 있다^[5]. 골연령의 측정방법은 신체부위에 따라 다양하다. 대표적으로 많이 이용되고 있는 방법은 Greulich-Pyle (GP)법과 Tanner-Whitehouse (TW) 방법이다. GP법은 GP 도감을 참조한 측정법으로 표준치는 1931년부터 1942년까지의 미국 오하이주 클리블랜드의 소아들을 대상으로 개발되었으며, 왼쪽 손목사진을 연령별로 표본 사진이 나열되어 있는 GP 도감과 대조하여 골연령을 측정하는 방식으로 빠르고 간편하지만 정확하지 못한 단점이 있다. TW법은 손목과 손의 뼈들을 TW 도감에 있는 각 부위별 뼈 성숙도에 따라 등급을 매기고 이에 따른 점수를 합산하여 골연령

을 측정하는 방식으로 숙련도를 필요로 하여 다소 시간이 걸리는 단점이 있다. TW법의 표준치는 1990년대 유럽과 북미 소아들을 대상으로 개발되었으며, TW2법을 거쳐 TW3법으로 개정되었다. 따라서 소아의 골 성숙은 유전, 영양, 호르몬 및 질환에 의하여 영향을 받고 시대에 따라 변화하기 때문에 각 인구 집단과 세대에 따른 확립이 필요하다^[4]. 이에 본 논문은 TW3법을 응용한 성장판과 골 말단부 사이 길이의 측정결과를 이용한 회귀분석으로 연령과의 상관관계와 골연령 예측 가능성을 알아보고자 하였다.

II. MATERIAL AND METHOD

1. 연구대상

2014년~2015년 P 병원에서 성장판 검사를 시행한 8세에서 14세 소아 72명(남 36명, 여 36명) Left Hand AP (왼손 전후) 영상을 이용하였으며, 선정된 소아는 2007년 발표된 질병관리본부의 정상인 기준을 근거하여 키와 몸무게가 표준성장도표의 95% 범위 이내에 속하며 선천적 질환이나 내분비 질환, 성조숙증과 같은 질환이 없고, 호르몬 치료를 받지 않은 소아를 대상으로 하였다.

2. 연구방법

실험은 Hand AP 영상을 실험에 용이하게 변환하기 위해 Image J(National Institutes of Health, ver. 1.48, USA)를 사용하였고, 성장판과 골 말단부 사이 길이를 측정하기 위해 PACS Plus view 5.1을 사용하였다. 영상 처리된 Hand AP 영상을 통해 성장판과 골 말단부 길이를 측정하였다.

성장판과 골 말단부 사이 길이 측정은 Hand AP 영상에서 길이 측정을 쉽게 하기 위해 Image J를 이용하여 Find edge 검출을 한 후 연부조직을 제거하기 위하여 영상을 반전(Invert) 시켜 길이 측정에 용이한 영상을 획득하였다[Fig 1]. 획득된 영상은 PACS를 통해 TW3법에 기초하여 골 성숙 가중치가 가장 높은 7개 측정부위를 선택한 다음 각각의 길이를 측정하였다[Fig 2]. 측정할 때 노뼈(Radius)와 자뼈(Ulna) 부위는 TW3법에서 가중치가 높아 좀 더 정확한 측정을 위해 양 끝단과 중심부 3

개 부위로 나누어 측정하였으며, 그 값의 평균값을 도출하였다. 1st~5th까지의 지절골(proximal phalanx) 부위는 성장판과 골 말단부위의 최소값의 길이를 측정하였으며, 통계적인 상관관계를 확인하기 위해 3회에 걸쳐 측정하였다. 도출한 값들을 통계 프로그램을 이용하여 평균과 표준편차를 구하였다^[6]. 결과에 대한 통계적 상관관계를 확인하기 위해 microsoft사의 엑셀 2007 프로그램을 이용하여 회귀분석을 하였으며, 회귀분석의 독립변수는 골연령, 종속변수는 성장판과 골 말단부 사이의 길이로 하여 각 측정 부위별 회귀분석을 시행하여 회귀방정식 및 상관계수를 분석하였다^{[7],[8]}.



(a) Hand AP image (b) Inverted Hand AP image
Fig 1. Acquired experimental image



Fig 2. Region of measurement

3. 회귀분석

회귀분석이란 하나의 변수와 또 다른 변수들 간의 상관관계를 회귀모형으로 설정하여 하나의 함수식으로 표현함으로써 자료를 분석하는 기법으로 두 변수간의 상관관계를 연구하게 될 때 상관계수를 구하여 해석하는 문제와 한 변수를 다른 변수로부터 예언하는 것을 회귀라 한다^[9].

회귀분석에서 회귀방정식의 계수를 구할 때 가장 흔히 사용하는 방법이 최소자승법이며, 변수 X로부터 변수 Y를 예측하려고 한다면 두 변수의 값을 알고 있는 집단을

대상으로 오차가 최소가 되는 직선 예측방정식을 구해야 하며, 오차를 최소로 하기 위해 오차의 자승합이 최소가 되게 하여야한다. 이와 같이 최소자승기준에 의해서 구해진 예측방정식을 회귀방정식이라고 하며 식(1)과 같다.

$$Y = bX + a \dots \dots \dots (1)$$

a는 Y절편, b는 기울기를 나타낸다.

회귀분석 통계량 수치적 계산은 행렬연산에 의해 수행되므로 다양한 함수들을 가지고 있는 엑셀에서 필요한 계산 매크로를 개발하여 분석에 이용할 수 있다. 엑셀을 이용하여 회귀분석을 수행하면 엑셀의 편리한 그래픽 기능으로 회귀모형 설정이 용이하고, 필요한 결과만을 얻을 수 있으며 결과 해석이 쉬운 장점이 있다^[7].

III. RESULT

1. 평성장판과 골 말단부 사이 길이 측정 결과

소아 Hand AP 영상에서 성별에 따른 성장판과 골 말단부 사이 길이 측정 결과는 남아의 경우 노뼈에서 8세 0.60 ± 0.048 mm, 13세 0.17 ± 0.019 mm, 자뼈에서 9세 0.49 ± 0.012 mm, 13세 0.22 ± 0.010 mm, 1st 지절골에서 8세 1.56 ± 0.082 mm, 13세 0.93 ± 0.019 mm, 2nd 지절골에서 8세 1.97 ± 0.082 mm, 13세 0.99 ± 0.042 mm, 3rd 지절골에서 8세 1.91 ± 0.078 mm, 13세 0.95 ± 0.079 mm, 4th 지절골에서 8세 2.00 ± 0.075 mm, 13세 0.97 ± 0.060 mm, 5th 지절골에서 1.88 ± 0.078 mm, 13세 0.95 ± 0.067 mm로 나타났다[Table 1].

여아의 경우 노뼈에서 8세 0.62 ± 0.084 mm, 13세 0.10 ± 0.010 mm, 자뼈에서 8세 0.58 ± 0.082 mm, 13세 0.09 ± 0.011 mm, 1st 지절골에서 8세 1.82 ± 0.063 mm, 13세 0.53 ± 0.074 mm, 2nd 지절골에서 8세 1.93 ± 0.093 mm, 13세 0.59 ± 0.096 mm, 3rd 지절골에서 8세 2.00 ± 0.080 mm, 13세 0.72 ± 0.081 mm, 4th 지절골에서 8세 1.93 ± 0.093 mm, 13세 0.65 ± 0.078 mm, 5th 지절골에서 1.94 ± 0.074 mm, 13세 0.60 ± 0.070 mm로 나타났다[Table 2].

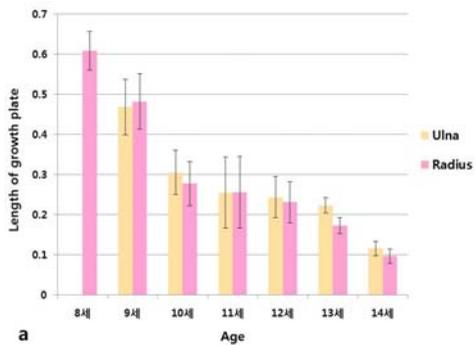
남아 노뼈 8세의 경우 남아가 여아보다 골성숙도가 늦어 측정이 불가능하였으며, 남아와 여아의 연령이 증가함에 따라 평균과 표준 편차 값이 감소하는 결과를 나타내었다[Fig. 3][Fig. 4]. 또한 같은 연령대에서 남아보다 여아의 평균값이 더 큰 것으로 나타났다.

Table 1. The mean and standard deviation of the growth plate length in the male (unit:mm)

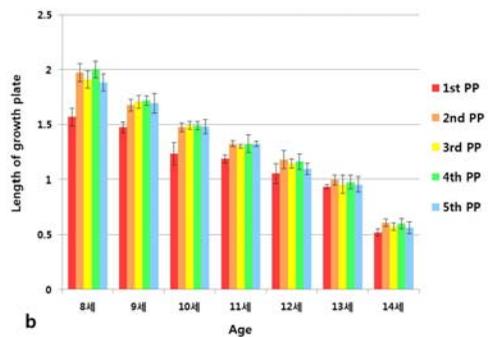
Age	Radius(m±sd)	Ulna(m±sd)	1st PP(m±sd)	2nd PP(m±sd)	3rd PP(m±sd)	4th PP(m±sd)	5th PP(m±sd)
8	0.60± 0.048		1.56± 0.082	1.97± 0.082	1.91± 0.078	2.00± 0.075	1.88± 0.078
9	0.48± 0.068	0.49± 0.012	1.47± 0.050	1.67± 0.053	1.70± 0.057	1.71± 0.042	1.69± 0.088
10	0.27± 0.054	0.30± 0.061	1.23± 1.002	1.47± 0.038	1.49± 0.033	1.48± 0.036	1.47± 0.060
11	0.25± 0.086	0.25± 0.046	1.18± 0.036	1.32± 0.026	1.29± 0.016	1.32± 0.081	1.32± 0.026
12	0.23± 0.051	0.24± 0.038	1.05± 0.087	1.17± 0.081	1.14± 0.042	1.15± 0.071	1.09± 0.050
13	0.17± 0.019	0.22± 0.010	0.93± 0.019	0.99± 0.042	0.95± 0.079	0.97± 0.060	0.95± 0.067

Table 2. The mean and standard deviation of the growth plate length in the female (unit:mm)

Age	Radius(m±sd)	Ulna(m±sd)	1st PP(m±sd)	2nd PP(m±sd)	3rd PP(m±sd)	4th PP(m±sd)	5th PP(m±sd)
8	0.62± 0.084	0.58± 0.082	1.82± 0.063	1.93± 0.093	2.00± 0.080	1.93± 0.093	1.94± 0.074
9	0.43± 0.028	0.40± 0.044	1.06± 0.086	1.52± 0.095	1.55± 0.083	1.56± 0.062	1.50± 0.093
10	0.28± 0.043	0.28± 0.059	1.03± 0.091	1.28± 0.060	1.23± 0.037	1.18± 0.048	1.19± 0.046
11	0.28± 0.018	0.28± 0.022	1.06± 0.084	1.25± 0.037	1.22± 0.031	1.18± 0.045	1.19± 0.066
12	0.18± 0.013	0.17± 0.012	0.74± 0.081	0.94± 0.086	0.99± 0.096	1.05± 0.074	0.96± 0.072
13	0.10± 0.010	0.09± 0.011	0.53± 0.074	0.59± 0.096	0.72± 0.081	0.65± 0.078	0.60± 0.070

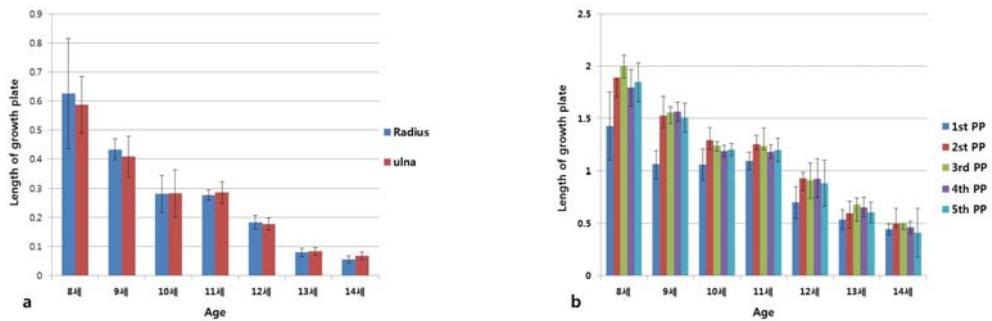


(a) Length measurement result of ulna and radius



(b) Length measurement result from 1st to 5th proximal phalanx

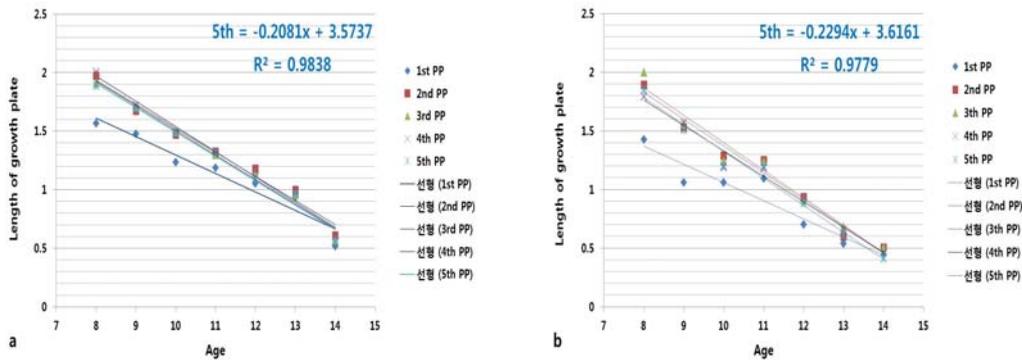
Fig. 3. Length measurement result of male



(a) Length measurement result of ulna and radius

(b) Length measurement result from 1st to 5th proximal phalanx

Fig. 4. Length measurement result of female



(a) Regression analysis in male

(b) Regression analysis in female

Fig. 5. Linearity verification using regression analysis

Table 3. Regression equation in the male

	Regression Equation	P-value	R ²
Radius	$y = -0.0786x + 1.167$	0.001	0.895
Ulna	$y = -0.0577x + 0.931$	0.001	0.883
1st PP	$y = -0.1570x + 2.865$	0.000	0.934
2nd PP	$y = -0.2054x + 3.576$	0.000	0.977
3rd PP	$y = -0.2096x + 3.601$	0.000	0.984
4th PP	$y = -0.2150x + 3.689$	0.000	0.983
5th PP	$y = -0.2081x + 3.573$	0.000	0.983

Table 4. Regression equation in the female

	Regression Equation	P-value	R ²
Radius	$y = -0.0877x + 1.245$	0.000	0.928
Ulna	$y = -0.0818x + 1.172$	0.000	0.935
1st PP	$y = -0.1555x + 2.613$	0.000	0.909
2nd PP	$y = -0.2282x + 3.650$	0.000	0.974
3rd PP	$y = -0.2344x + 3.739$	0.000	0.964
4th PP	$y = -0.2166x + 3.493$	0.000	0.977
5th PP	$y = -0.2294x + 3.616$	0.000	0.977

2. 회귀분석 결과

회귀분석을 시행하여 골 연령 X축, 각 부위별 성장판과 골말단부 길이의 평균값을 Y축으로 하여 남아와 여아의 골연령에 따른 각 부위의 길이 변화를 선형회귀곡선으로 나타내어 회귀방정식을 도출하였다[Fig. 5].

그 결과 남아의 경우 노뼈 $y = -0.0786x + 1.167$, 자뼈 $y = -0.0577x + 0.931$, 1st 지절골 $y = -0.1570x + 2.865$, 2nd 지절골 $y = -0.2054x + 3.576$, 3rd 지절골 $y = -0.2096x + 3.601$, 4th 지절골 $y = -0.2150x + 3.689$, 5th 지절골 $y = -0.2081x + 3.573$ 로 나타났으며, 결정계수 값(R^2)은 0.895~0.983으로 나타났다[Table 3].

여아의 경우 노뼈 $y = -0.0877x + 1.245$, 자뼈 $y = -0.0818x + 1.172$, 1st 지절골 $y = -0.1555x + 2.613$, 2nd 지절골 $y = -0.2282x + 3.650$, 3rd 지절골 $y = -0.2344x + 3.739$, 4th 지절골 $y = -0.2166x + 3.493$, 5th 지절골 $y = -0.2294x + 3.616$ 로 나타났으며, 결정계수 값(R^2)은 0.928~0.977으로 나타났다[Table 4].

이러한 결과는 남아와 여아의 각 부위별 회귀분석 통계량의 결과로서 각각의 회귀방정식을 나타내었으며, 결정계수 값(R^2)은 0.92~0.95로 나타났다. 또한 p-value는 0.05보다 낮은 범위의 값을 나타내었다.

IV. DISCUSSION

현재 임상에서 가장 많이 이용되고 있는 골 연령 평가 방법은 GP법과 TW법이다^{[10],[11]}. 두 측정방법 모두 왼쪽손목이 포함된 왼손 전후방향 영상을 이용하는데 이는 골 성숙과정이 일정하고 유전적인 영향보다 질환과 영양 상태에 영향을 더 많이 받기 때문이다. 또한 오른손의 빈번한 상해로 인해 왼손이 오른손보다 골 연령이 높은 것으로 알려져 있다^{[3],[10]}. 골 연령은 각 인구집단에 따라 다를 수 있기 때문에 개별 인구집단에 따른 표준치가 필요하다. 또한 소아의 경우 이전 세대보다 더 빨리 성숙하기 때문에 키와 체중의 표준치처럼 골 성숙의 표준치도 시대에 따라 확립되어야 한다. 1930년대 미국 소아를 표본으로 개발된 GP법은 실제 현재 소아의 골 연령과 차이가 나타날 수 있다. 이후 1960년대 개발된 TW2법은 골 연령이 GP법보다 더 높게 측정되

는 경향을 보였으며, TW3법은 1990년대 유럽과 미국 소아를 대상으로 개발되었다. 이러한 TW3법은 중국 소아를 대상으로 한 연구에서 골 성숙이 여아는 10세까지 남아는 12세까지 TW3 표준치와 일치한다고 하였으며, 일본의 표준치와도 비슷하다고 보고되어 현재는 동양인의 골연령 측정에 보다 적합하다고 할 수 있다. 하지만 여아 10세, 남아 12세 이후는 높게 측정된다고 하였다^[12]. 또한 국내 소아의 골연령 평가에도 많이 이용되고 있지만 적합성 여부의 확인이 필요한 실정이다^[3].

본 연구에서는 왼손 전후 영상에서 TW3법을 응용하여 소아의 성장판과 골 말단부 사이 길이를 측정하고 측정 부위별 통계적 상관관계를 통한 골연령의 예측 가능성을 알아보고자 하였다. 그 결과 연령에 따른 성장판과 뼈 말단 부위 사이 길이 값을 측정한 평균과 표준편차 값은 각 연령 마다 특정 범위의 평균과 표준편차 값을 나타내었다. 또한 연령이 증가할수록 성장판과 골 말단부 사이의 길이 차이가 감소하는 것으로 나타났다. 특히 노뼈와 자뼈는 다른 부위에 비해 골 성장이 빠르게 진행되어 측정 길이 평균값이 작게 나타났으며, 이는 연령의 증가에 따라 모든 뼈의 관절들이 골 간단부와 보다 많은 융합이 진행되었다는 것을 의미하는 것으로 골연령의 예측 가능성을 나타낸 결과이다. 또한 골연령을 예측하기 위해 측정부위를 7개로 지정하여 얻어진 결과로서 기존의 TW3법에 비해 간소화된 방법이다. 왼손의 13개 측정부위를 확인하여 적합한 골등급을 찾아 골등급을 부여한 다음 골등급별 점수를 가중하고 이를 합산하여 골 성숙점수를 계산하고 계산된 골 성숙점수는 골연령 표를 통해 골연령을 부여하는 TW3법은 TW2법에서 골 성숙점수를 산출하기 위해 사용된 뼈의 개수를 20개에서 13개로 감소시켜 검사시간을 단축하고자 하였지만^[11] 여전히 검사자의 숙련도가 요구되고 다소 많은 시간이 소요된다^[4]. 따라서 본 연구에서 제안된 방법은 골연령 측정을 위한 프로세서의 간소화와 검사 시간 단축에 도움이 될 것이며, 측정된 길이를 기초로 하였기 때문에 정량적이고 정확한 성인키의 예측이 가능할 것으로 판단된다.

여아의 경우 남아와 비교했을 때 골 성장이 빠르게 진행되어 남아보다 여아의 성장판과 골 말단 부위 사이 길이 평균값이 작아지는 것을 확인할 수 있었다. 이는 김 등^[4]이 2005-2006년 건강한 한국인 소아를 대상으로

한 연구결과와 한 등^[13]이 2003-2005년 한국인 성조숙증 소아를 대상으로 한 연구결과와 일치하는 결과로, 여아의 골연령이 남아의 골연령 보다 높게 측정됨을 알 수 있었다. 또한 성호르몬과 성장호르몬 분비의 증가로 성장이 촉진되는 사춘기의 골연령인 여아 11세, 남아 13세에 해당되는 시기와 관련이 있음을 알 수 있으며^[2], 여아의 경우 12~14세경 초경이 나타남에 따라 초경 전후 길이 감소 변화가 크게 나타난 것으로 사료된다.

회귀분석 결과에서 결정계수 값은 0~1사이의 범위를 가지게 되는데 1에 가까울수록 높은 선형관계를 가진다고 할 수 있다. 따라서 골연령에 따른 성장판과 골말단 부위 사이 길이 값을 측정하여 얻어진 평균과 표준편차 값을 이용한 분석결과에서의 결정계수 값이 0.884~0.984를 나타내어 높은 선형관계가 있다고 판단할 수 있다. 또한 p-value가 0.05보다 낮은 범위를 나타내어 유의한 상관관계가 있음을 알 수 있었다. 이는 왼손 전후 영상에서 TW3법을 응용하여 소아의 성장판과 골말단부 사이 길이를 측정으로 구현된 회귀방정식을 통해 골연령의 예측이 가능할 것으로 판단된다.

본 연구결과는 정상소아만을 대상으로 하였으며, 성조숙증 소아와 성장지연 소아를 포함하지 못하였다. 또한 전체적인 표본수가 적었기 때문에 실험을 통해 얻은 정량적인 값들을 표준화시키기 위해 향후 더 많은 대상으로 연구를 진행하여 골 성숙도의 표준치를 국내 소아에 적용할 수 있는 추가적인 연구가 필요하다고 사료된다.

V. CONCLUSION

골연령의 측정은 인종이나 집단의 차이가 존재하기 때문에 각 인종 및 집단의 표준데이터를 이용하는 것이 정확한 골연령의 측정과 성인키 예측에 도움이 될 것이다. 본 연구에서는 TW3법을 응용하여 소아의 골연령 측정에 적절함에 대한 가능성을 알아보고자 디지털 방사선영상을 이용하여 소아 골 성장판과 골말단부 부위의 길이 측정 및 통계적 유의성을 분석하였다. 그 결과는 연령 별 특정 평균분포 범위가 존재 하였고, 연령이 증가할수록 성장판과 골말단부 부위 측정 길이가 감소함을 알 수 있었다. 또한 회귀분석을 통한 결과에서 성장판과 골말단부 부위 측정 길이와 연령이 통계

적으로 유의한 상관관계를 가졌다. 따라서 소아 Hand AP 영상에서 TW3법의 응용과 회귀방정식의 구현으로 골연령의 예측이 가능하다는 것을 알 수 있었다.

Reference

- [1] Lee KH, "Growth Assessment and Diagnosis of Growth Disorders in Childhood", J Korean Pediatrics Soc, Vol. 46, No. 12, pp.1171-1177, 2003.
- [2] Sung IK, "Monitoring Growth in Childhood: Practical Clinical Guide", J. Korean Med Assoc, Vol. 52, No. 3, pp.211-224, 2009.
- [3] Oh YJ, "Development and Evaluation of Semi-automatic Bone Age Estimation Method", The graduate school of Ewha Womans University, 20011.
- [4] Kim SY, Oh YJ, Shin JY, Lee YJ, Lee KH, "Comparison of the Greulich-Pyle and Tanner Whitehouse (TW3) Methods in Bone Age Assessment", J Korean Soc Pediatr Endocrinol, Vol. 13, No. 1, pp.50-55, 2008.
- [5] Kim DH, "Assessment of Bone Age During Pubertal Age", Diagnostic Pathology, J Korean Soc Pediatr Endocrinol, Vol. 16, No. 3, pp.135-138, 2011.
- [6] Park GC, Lee KE "A linearity test statistic in a simple linear regression", J Korean Data & Information Science Society, Vol. 25, No. 2, pp.305-315, 2014.
- [7] Kim SY, "Development of MS Excel Macros to estimate regression models and test hypotheses of relationships between variables(Application to regression analysis of subway electric charges data)", J Korea computer industry education society, Vol. 10, No. 5, pp.213-220, 2009.
- [8] Jang YS, Kim DW, Mun SH, Jang BK, "Proposal for the Estimation of the Hydraulic Conductivity of Porous Asphalt Concrete Pavement using Regresstion Analysis", J Korean Society of Road Engineers, Vol. 15, No. 3, pp.45-52, 2013.
- [9] Jeon MJ, "For assumption recurrence equation by energy consumption on female's stepbox aerobic exercise", The graduate school of Pukyong National University, 20009.
- [10] Yeon KM, "Standard bone age of infants and children in Korea," J Korean Society of Medicine, Vol. 12, No. 1, pp.9-16, 1997.
- [11] Tanner JM, Healy MJR, Goldstein H, Cameron N, "Assessment of skeletal maturity and prediction of adult height: TW3 method 3rd edition London: W.B Saunders", 2001.

- [12] Aahiawa K, Kumakura C, Zhou X, Jjin F, Cao J, "RUS skeletal maturity of children in Beijing", *Annals of Human Biol.*, Vol. 32, Issue. 3, pp.316-325, 2005.
- [13] Han MY, Sohn WY, Paik KH, Jin DK, "Relationship between Chronology age and Bone age at diagnosis of Central precocious puberty, *J Korean Soc Pediat Endocrinol.* Vol. 10, No. 1, pp.90-94, 2005.